

Sean Kevin Heesch
Brandreferendar
Branddirektion Frankfurt am Main

Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr

Facharbeit gemäß § 21 VAP2.2-Feu NRW

Düsseldorf,

Dezember 2020

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Aufgabenstellung

Institut der Feuerwehr
Nordrhein-Westfalen



Institut der Feuerwehr NRW, Postfach 4967, 48028 Münster

Datum: 25.09.2020

Herr
Sean Kevin Heesch
Hebbelweg 17
63454 Hanau

Aktenzeichen Z2-5-2-05
bei Antwort bitte angeben

Nicole Krüler
Telefon 0251 3112-4202
Telefax 0251 3112-4299
pruefungsamt@idf.nrw.de

Ausbildung für das zweite Einstiegsamt der Laufbahngruppe 2 des feuerwehrtechnischen Dienstes
hier: Facharbeit

Sehr geehrter Herr Heesch,

nachstehend teile ich Ihnen das Thema Ihrer Facharbeit mit:

Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr
In der Wirtschaft werden in manchen Fällen digitale Nachbildungen realer Objekte, beispielsweise Gebäude oder die Infrastruktur ganzer Städte, zur Durchführung komplexer Analysen erstellt; diese werden als Digitale Zwillinge bezeichnet. Erörtern Sie Anwendungsmöglichkeiten dieser Vorgehensweise in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr.

Ich bitte um Vorlage der Arbeit in dreifacher Ausfertigung (zwei gebundene Exemplare und ein Exemplar als pdf-Datei auf digitalem Datenträger) spätestens drei Monate nach Erhalt dieses Schreibens.

Mit freundlichen Grüßen

B. R.

Dienstgebäude und
Lieferanschrift:
Wolbecker Str. 237
48155 Münster
Telefon 0251 3112-0
Telefax 0251 3112-1099
poststelle@idf.nrw.de
www.idf.nrw.de

Öffentliche Verkehrsmittel:
Buslinien 11, 22, R22, R32,
N84, Hauptbahnhof Münster
(Bussteig A) bis Haltestelle
„Institut der Feuerwehr“

Kurzfassung

Im Rahmen der Digitalisierung werden immer neue Anwendungsmöglichkeiten von digitalen Systemunterstützungen, auch für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr, erschlossen. Eine dieser Möglichkeiten ist der Digitale Zwilling.

Mit Hilfe eines Digitalen Zwillings werden bereits seit einigen Jahren im Wirtschaftssektor reale Objekte im digitalen Raum nachgebildet und teilweise bereits Funktionsbefehle über den Digitalen Zwilling an das reale Objekt zurückgesendet.

Hierdurch ist es im Rahmen von Analysen möglich, die Lebenszyklen von Triebwerken in der Luftfahrt zu simulieren oder auch im Bereich der Bauwirtschaft Neubauten im digitalen Bereich mit allen notwendigen Informationen für die verschiedensten Gewerke darzustellen und so den Baufortschritt zu begleiten. Dabei ist das oberste Ziel, den Menschen mit den digitalen Möglichkeiten zu unterstützen und zu entlasten.

Diese Facharbeit setzt sich mit den Anwendungsmöglichkeiten für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr, d.h. Feuerwehr (kommunal und betrieblich), den Hilfsorganisationen und dem Katastrophenschutz auseinander. Dabei werden die Vor- und Nachteile abgewogen und die perspektivische Entwicklung des Digitalen Zwillings in diesem Bereich erörtert.

Um die notwendige Grundlage dafür zu schaffen werden einführend der Begriff des Digitalen Zwillings und der aktuelle Stand der Technik kurz beschrieben. Als Methode werden Experteninterviews mit einem vordefinierten Fragenkatalog durchgeführt. Bei den Experten handelt es sich um den Vorsitzenden des Bundesverbandes Betrieblicher Brandschutz/Werkfeuerwehrverband Deutschlands e.V. und Leiter der Werkfeuerwehr der Fa. Henkel AG & Co. KGaA, Herrn Raimund Bücher, Frau Pratzler-Wanczura vom Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie der Feuerwehr Dortmund und dem geschäftsführenden Gesellschafter des Berliner Brandschutzbüros hhpBerlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Herrn Stefan Truthän. Schwerpunktbezogen wird ein weiteres Gespräch mit Herrn Volker Engel von der Hessischen Landesfeuerwehrschule geführt.

Darüber hinaus wird eine nationale und internationale Literaturrecherche durchgeführt, um beispielsweise die Anwendungsmöglichkeiten im amerikanischen Bevölkerungsschutz mit in die Erörterung einzubeziehen.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis V
Abbildungsverzeichnis VI
1 Einleitung 1
2 Erläuterung der Aufgabenstellung 2
2.1 Definition „Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr“ 2
2.2 Stand der Technik 3
3 Methodik 5
3.1 Experteninterview(s) 5
3.2 Literaturrecherche 6
4 Ergebnis – Anwendungsmöglichkeiten 6
4.1 Einsatzvorbereitung 7
4.1.1 Ausbildung 7
4.1.2 Vorbeugender Brandschutz 8
4.2 Einsatzdurchführung 11
4.3 Einsatznachbereitung 17
5 Diskussion 18
6 Fazit und Ausblick 20
Literatur- und Quellenverzeichnis VII
A Anhang 1 – Fragebogen Experteninterview X
B Anhang 2 – Auswertung Experteninterview(s) XI
Eidesstattliche Erklärung XII

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Abkürzungsverzeichnis

BIM	Building Information Modeling
CAD	computer-aided design
engl.	englisch
Fa.	Firma
FwDV	Feuerwehr-Dienstvorschrift
IT	Informationstechnik
NASA	National Aeronautics and Space Administration
USA	United States of America
vfdb	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Digitale Zwilling ist ein Abbild eines realen Objektes. Mit zusätzlichen Einflussgrößen werden im Digitalen Zwilling Simulationen durchgeführt und an das reale Objekt zurückgeführt. 3

Abbildung 2: Infolge eines Schadensereignisses werden Daten der Smart City und der realen Welt für den Digitalen Zwilling genutzt, um mit Hilfe von Simulationen und weiteren digitalen Werkzeugen eine Entscheidungsfindung im Rahmen der Einsatzplanung zu unterstützen. 4

Abbildung 3: Bereits in der Planungsphase kann der spätere Brandverlauf am Digitalen Zwilling simuliert werden und damit Rückschlüsse auf die Bauwerks- und Einsatzplanung geschlossen werden 9

Abbildung 4: Im Digitalen Zwilling werden die brandschutztechnischen Besonderheiten der neuen Altstadt in Frankfurt am Main visuell dargestellt. 10

Abbildung 5: Die Daten der Smart City werden dem Einsatzleiter bereits auf der Anfahrt und während der Erkundung vor Ort als ein Digitaler Zwilling des Objektes präsentiert. 13

Abbildung 6: Ausbreitungssimulation mit Hilfe eines Digitalen Zwillings nach einer Gefahrstofffreisetzung im Hamburger Hafen. 14

1 Einleitung

Die Digitalisierung schreitet weiter voran und macht dabei auch nicht vor der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr halt. Während bereits seit einigen Jahren in der Wirtschaft und dem privaten Raum Entwicklungen wie Industrie 4.0, Smart Cities und künstliche Intelligenz interdisziplinär diskutiert werden, ergeben sich hierdurch auch neue Anwendungsmöglichkeiten für die Feuerwehren, die Hilfsorganisationen und dem Katastrophenschutz.

Es ist allseits bekannt, dass die Herausforderungen für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr zunehmen. Der demografische Wandel, neue Wohnformen und neue Antriebstechnologien sind hier nur ein Auszug an Herausforderungen. Hieran wird die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung, um das bisherige Sicherheitsniveau halten zu können, deutlich. In diesem Zusammenhang stellt sich unausweichlich die Frage, wie die vernetzte Feuerwehr in fünf, zehn oder fünfzehn Jahren aussehen soll. [4]

Ein Ansatz hierbei ist, die zuvor beschriebenen Trends aufzunehmen und sie für die Erfüllung der Aufgaben der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr nutzbar zu machen. In diesem Zusammenhang ist die Möglichkeit der Digitalen Zwillinge ein weiterer Baustein im Baukasten der digitalen Gefahrenabwehr.

Diese Facharbeit beschreibt die relevanten Aspekte der Entwicklung der Digitalen Zwillinge für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr. Hierzu wird ein Exkurs in die Wirtschaft gemacht, um dort den derzeitigen Stand der Technik zu beleuchten und mit Hilfe von Experteninterviews sowie einer Literaturrecherche die Anwendungsmöglichkeiten herauszuarbeiten. Dabei ist es entscheidend, die Vor- und Nachteile der Anwendungsmöglichkeiten zu erläutern, um ein Fazit zu ziehen, ob Digitale Zwillinge die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr unterstützen können.

Die Bezeichnung nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr schließt dabei nicht nur die Aufgaben der Feuerwehr ein. Der Begriff *Feuerwehr* steht hierbei gleichbedeutend für die Aufgabenerfüllung im Brandschutz, der Hilfeleistung, den Katastrophenschutz, sowie dem Rettungsdienst. Hierbei sind die Anwendungsmöglichkeiten nicht nur auf einen Sektor, wie die kommunale Feuerwehr, begrenzt, sondern stehen gleichbedeutend für die Möglichkeiten an Landeseinrichtungen (z.B. Feuerwehrschulen), Bundeswehrfeuerwehren, Betrieblichen-/Werkfeuerwehren, dem Technischen Hilfswerk und den Akteuren im Rettungsdienst.

2 Erläuterung der Aufgabenstellung

Bevor im weiteren Verlauf die Anwendungsmöglichkeiten herausgearbeitet werden, ist es von großer Bedeutung, den Begriff Digitaler Zwilling zu verstehen und einen Überblick über den derzeitigen Stand der Technik zu erhalten.

2.1 Definition „Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr“

Der Ursprung des Begriffes Digitaler Zwilling geht zurück auf das englische Wort digital, welches eine Ableitung des Substantivs digit ist und *Ziffer* bedeutet. [18] Daneben kommt die Bezeichnung Zwilling aus dem hochdeutschen Raum und bedeutet doppelt und/oder zu zweit. Ausgedrückt wird somit ein auf Zahlen/Ziffern basierendes Abbild eines anderen Objektes. [25]

Der Begriff Gefahrenabwehr beschreibt wiederum ein präzises Rechtsgebiet. Hierbei ist es das Ziel der Gefahrenabwehr, die öffentliche Sicherheit und Ordnung sicherzustellen. [20]

Erste Untersuchungen zum Thema Digitaler Zwilling (engl. digital twin) wurden in den frühen 2000er Jahren von M. Grieves im Rahmen seiner Tätigkeit bei der NASA durchgeführt. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der IT-basierenden Kommunikation zwischen einem realen Objekt und seinem digitalen Abbild. Dabei wurde der Ansatz verfolgt, aus den übermittelten Daten wiederum einen digitalen Impuls (engl. digital trigger) an das reale Objekt zurückzusenden. [11, 12]

Mit Hilfe des Digitalen Zwillings ist es seitdem möglich, komplexe Analysen am virtuellen Objekt durchzuführen. Dabei ist die Grundlage ein reales, im digitalen Raum gespiegeltes Objekt.

Mikell und Mikell erweiterten 2018 die Definition des Digitalen Zwillings hinsichtlich „[…]the virtual representation of a physical object or system across its life-cycle.“ [11]

Dies bedeutet, dass der Digitale Zwilling die virtuelle Repräsentanz eines physischen Objektes oder eines Systems darstellt und dabei der gesamten Lebenszyklus des Objektes oder Systems abgebildet wird.

Basierend auf der Definition von Mikell und Mikell setzt der Digitale Zwilling kein physisches reales Objekt voraus. Vielmehr ist es ebenfalls möglich, einen Prozess im digitalen Raum nachzubilden und daran Analysen vorzunehmen. [15]

Seitdem gibt es von verschiedenen Stellen unterschiedliche Beschreibungen zur eigentlichen Definition des Digitalen Zwillings. So wird mittlerweile die Verwendung von Umgebungsbedingungen, wie Maschinenpositionen, Leistungsdaten, Witterungseinflüsse o.ä. bei der Durchführung von Analysen mittels Digitalen Zwillingen als Grundlage angesehen. [17]

Weiterhin ist die Anzahl an Simulationen im Zusammenhang mit einem Digitalen Zwilling nicht begrenzt. Vielmehr bietet ein heutiger Digitaler Zwilling die Möglichkeit, in den Analysen verschiedene Simulationsmodelle miteinander zu verbinden und so die Aussagekraft zu erhöhen. [17]

Das oberste Ziel dabei bleibt jedoch immer, dass die Gefahr von Fehlern oder Störungen am realen Objekt oder Prozess verringert wird und somit die Resilienz des selbigen erhöht wird. [5, 6, 23]

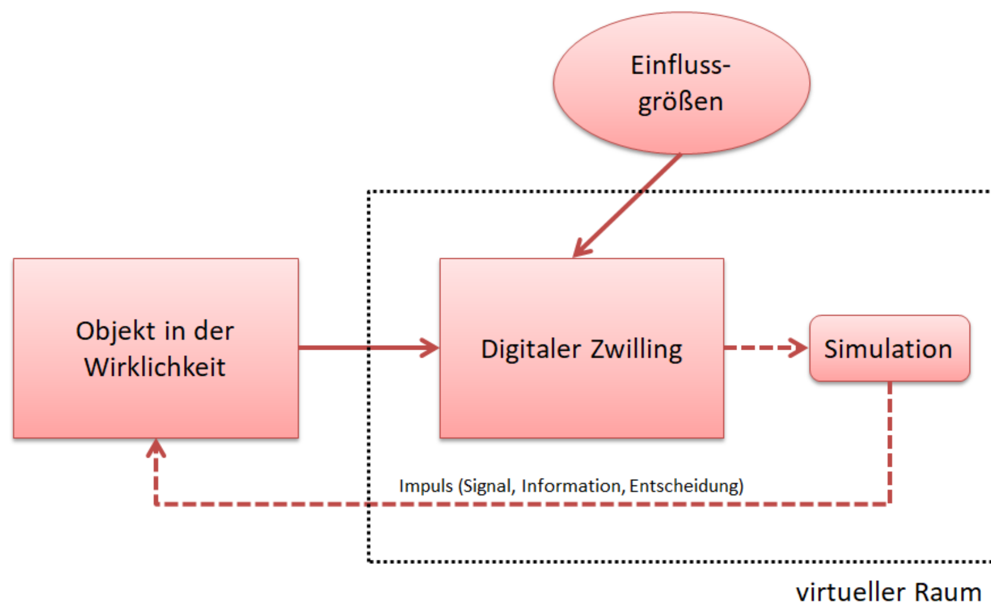


Abbildung 1: Der Digitale Zwilling ist ein Abbild eines realen Objektes. Mit zusätzlichen Einflussgrößen werden im Digitalen Zwilling Simulationen durchgeführt und an das reale Objekt zurückgeführt.
Quelle: eigene Darstellung

2.2 Stand der Technik

Digitale Zwillinge werden bereits seit einigen Jahren auch in der heimischen Wirtschaft eingesetzt. Im Rahmen der Entwicklung hin zur Industrie 4.0 und der damit einhergehenden Verwendung von künstlicher Intelligenz bilden Digitale Zwillinge die Grundlage zur Durchführung komplexer Analysen. Hierbei werden die interagierenden Faktoren immer komplexer. [19]

Anwendungsgebiete in der Wirtschaft sind heutzutage bereits die Durchführung von Lebenszyklen an Triebwerken zur Verbesserung ihrer Ausfallsicherheit. Dabei ist diese Methode nicht nur auf die Planung von Triebwerken beschränkt, sondern ermöglicht auch bei bereits in Betrieb befindlichen Triebwerken, dass deren Entwicklung kontinuierlich begleitet und vorausgeplant werden kann. [6] Mit Hilfe von Digitalen Zwillingen können hier mögliche Erweiterungen am Produkt getestet werden und somit Umrüstzeiten verkürzt werden.

Weiterhin laufen bei der Fa. Henkel in Düsseldorf bereits vorbereitende Maßnahmen zur Eröffnung einer Klebstofffabrik, die vollautomatisch ohne Mitarbeiter auskommt. Hierbei ist der gesamte Produktionszyklus als Digitaler Zwilling nachgebildet und die einzelnen Handlungsschritte, die sonst Menschen tätigen, darin definiert. Auf dieser Grundlage führen Roboter die Handlungen später aus. [1] Zusätzlich ermöglicht die digitale Fabrik, dass Produktionsprozesse simuliert werden können, um diese kontinuierlich zu verbessern.

Andererseits wird im Bankensektor die gesamte Interaktion mit dem Kunden, angefangen bei der Kontoeröffnung, Kontoführung, Kreditbeantragung usw., in Form eines digitalen Prozesszwillings in den digitalen Raum verlagert. Hierbei dient der seit Jahren angewandte Kundenkontakt in einer Filiale als Vorbild für den digitalen Prozesszwilling. [15]

Derzeit werden in nahezu allen Bereichen, die sich mit Digitalen Zwillingen beschäftigen, daran gearbeitet, Problemfelder wie die IT-Sicherheit, Zugriffsrechte usw. zu beheben. Schwerpunkt dabei ist es, Schnittstellen zu anderen Bereichen zu definieren. Dabei ist es entscheidend, die Kompetenzen zu bündeln und einheitliche, im besten Fall internationale, Standards festzulegen. [4] In diesem Zuge hat bereits die Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) eine Initiative zum Aufbau eines Kompetenzzentrums für den Bereich der digitalen Transformation der zivilen Gefahrenabwehr ins Leben gerufen, welches sich unter anderem mit den oben genannten Fragestellungen beschäftigen soll. [7]

Im Kontext der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr werden bereits national und international seit wenigen Jahren Digitale Zwillinge im Rahmen von Analysen eingesetzt. Zum Beispiel werden in den USA verschiedene Simulationen, basierend auf Digitalen Zwillingen, genutzt, um die Planung von Entscheidungen im Einsatz vorzubereiten und den Einsatzleiter zu unterstützen. Ein neuer Ansatz hierbei ist es Daten von Sensoren einer Smart City bei der Anwendung von Digitalen Zwillingen zu verwenden. [10, 11]

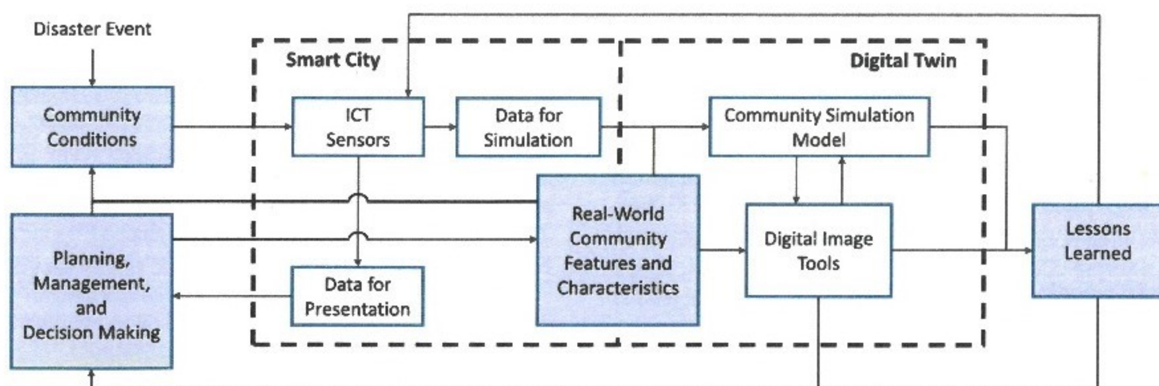


Abbildung 2: Infolge eines Schadensereignisses werden Daten der Smart City und der realen Welt für den Digitalen Zwilling genutzt, um mit Hilfe von Simulationen und weiteren digitalen Werkzeugen eine Entscheidungsfindung im Rahmen der Einsatzplanung zu unterstützen.
Quelle: FORD, David N., WOLF, Charles, Smart Cities with Digital Twin Systems for Disaster Management, ASCE, 2020 [11]

Für den Ablauf ist es irrelevant, ob Daten einer Smart City vorliegen oder nicht. Die Funktionsweise des Digitalen Zwillings wird hierdurch nicht verändert.

Im deutschsprachigen Raum finden Digitale Zwillinge momentan meist ohne zentrale Steuerung in unterschiedlichsten Tätigkeitsgebieten der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr ihren Einsatz, sei es im Bereich der Ausbildung, der Einsatzplanung, des operativen Einsatzbetriebs oder auch im vorbeugenden Brandschutz. Hierbei arbeiten die Abteilungen oftmals getrennt voneinander an ihrer jeweiligen Problemstellung, teilweise ohne Wissen, dass die Methode des Digitalen Zwillings von einer Vielzahl an Personen verwendet wird. [15, 24]

3 Methodik

Das nachfolgende Kapitel beschreibt die Methodik bei der Erstellung dieser Arbeit.

3.1 Experteninterview(s)

Um einen guten Überblick über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr zu erhalten, werden mit drei verschiedenen Experten Interviews zu dem Thema „Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr“ geführt.

Bei den drei Experten handelt es sich um:

- Für die betrieblichen Feuerwehren und den Wirtschaftssektor: Herr Raimund Bücher, Leiter der Werkfeuerwehr der Fa. Henkel AG & Co. KGaA in Düsseldorf und Vorsitzenden des Bundesverbandes Betrieblicher Brandschutz/Werkfeuerwehrverband Deutschlands e.V.
- Für die kommunale Feuerwehr und die Forschung: Frau Pratzler-Wanczura vom Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie der Feuerwehr Dortmund.
- Für den Bereich des vorbeugenden Brandschutzes, der baulichen Möglichkeiten und den zukünftigen Schnittstellen aus dem privaten Sektor: Herr Stefan Truthän, geschäftsführender Gesellschafter des Berliner Brandschutzbüros hhpBerlin Ingenieure für Brandschutz GmbH.

Aufgrund der Pandemieeinschränkungen findet das Experteninterview mit Herrn Bücher bei der Fa. Henkel in Düsseldorf, mit Frau Pratzler-Wanczura telefonisch und per E-Mail sowie mit Herrn Stefan Truthän in Form einer Videokonferenz sowie ebenfalls per E-Mail statt.

Bei allen drei Experten wird der gleiche Fragebogen verwendet, der aber die Möglichkeit für weitere Impulse zulässt.

Der konkrete Fragebogen und eine detaillierte Auswertung über die gegebenen Antworten ist dem Anhang zu entnehmen. Die hierbei verwendeten Leitfragen sind nachfolgend dargestellt.

1. Ist Ihnen der Begriff „Digitaler Zwilling“ bereits bekannt?
2. Hatten Sie im Rahmen Ihrer Tätigkeit bereits Kontakt mit Digitalen Zwillingen?
3. Wofür werden Digitale Zwillinge in Ihrem Unternehmen/Organisation im Allgemeinen verwendet?
4. Wie können Sie sich den Einsatz von Digitalen Zwillingen in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr vorstellen?
    a. Operativer Dienst
    b. Aus- und Fortbildung
    c. Vorbeugender Brandschutz
    d. Technik
    e. Sonstiges
5. Was sind Ihrer Meinung nach die Schwierigkeiten beim Einsatz von Digitalen Zwillingen in Ihrem Unternehmen/Organisation?
6. Gab es bereits eine erste Kostenschätzung zu Projekten in diesem Bereich?
7. Weitere Impulse

3.2 Literaturrecherche

Als weitere Methode wird eine Literaturrecherche durchgeführt. Gleichzeitig werden Facharbeiten vorheriger Jahrgänge und einzelne Fachbücher aus dem englischsprachigen Raum studiert. Hintergrund ist hierbei, dass in den USA bereits seit längerer Zeit, beginnend bei der NASA, auf dem Gebiet der Digitalen Zwillinge in der Gefahrenabwehr geforscht wird und dadurch bereits erste größere Veröffentlichungen existieren.

4 Ergebnis – Anwendungsmöglichkeiten

Bei der Beschreibung der Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen in der Gefahrenabwehr wird chronologisch von der Einsatzvorbereitung über die Einsatzdurchführung bis zur Einsatznachbereitung vorgegangen.

Die Anwendungsmöglichkeiten stehen dabei stellvertretend für die unterschiedlichen Akteure der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr, so sind beispielweise sowohl die öffentliche Feuerwehr (meist hauptberuflich) als auch einige Werkfeuerwehren im Rettungsdienst tätig. Gleichzeitig sind Erkenntnisse aus den baulichen Anwendungen von Digitalen Zwillingen sowohl für die öffentliche Feuerwehr, die betriebliche Feuerwehr als auch für das Technische Hilfswerk relevant.

An dieser Stelle sei anzumerken, dass es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten gibt und nur ein Auszug davon für die unterschiedlichen Themenfelder der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr gegeben werden kann.

4.1 Einsatzvorbereitung

Das Themenfeld der Einsatzvorbereitung wird zweigeteilt betrachtet. Zum einen werden Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten mit Digitalen Zwillingen beschrieben und zum anderen der vorbeugende (bauliche) Brandschutz und seine Berührungspunkte zu Digitalen Zwillingen sowie die darauf aufbauende Einsatzvorplanung.

4.1.1 Ausbildung

Die Grundlage für jeden Einsatz, unabhängig ob beim Rettungsdienst, dem Technischen Hilfswerk oder der Feuerwehr, ist die grundlegende Ausbildung und die spätere Fortbildung des eingesetzten Personals.

Hierbei hat sich bereits in den vergangenen Jahren ein deutlicher Wandel weg von der früheren oftmals durchgeführten theoretischen Lehre, hin zur praxisorientierten und damit realistischeren Aus- und Fortbildung vollzogen.

Der nächste Schritt könnte sein, mit Hilfe von Digitalen Zwillingen Handlungsabläufe in der späteren realen Einsatzwelt durchzuführen. Das Stichwort an dieser Stelle lautet *„virtual reality“*. Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik sind vielfältig. Folgende Beispiele zeigen, wo dieses Konzept umgesetzt werden kann oder mitunter bereits heute Anwendung findet.

Darüber hinaus bietet diese Form der Ausbildung die Option, Umwelteinflüsse von Ausbildungsveranstaltungen weiter zu reduzieren. So kann bei einer Kombination von virtual reality und Digitalen Zwillingen der effektive Einsatz von Löschschaum in realitätsgetreuer Umgebung umweltschonend geübt werden. Gleiches gilt auch für den Bereich des Feuerlöschertrainings, bei dem gerade in großen Industrieparks eine Vielzahl von Personen in begrenzter Zeit geschult werden müssen.

Virtual Reality im Strahlrohrtraining

Für jeden Atemschutzgeräteträger ist die Beherrschung von plötzlich eintretenden Brandphänomenen eine Herausforderung, da man im Einsatzalltag nur selten damit konfrontiert wird. Umso wichtiger ist es, beispielsweise bei einer plötzlichen Rauchdurchzündung richtig zu reagieren. Dabei sind die Handlungsabläufe immer wieder zu trainieren. Ähnlich dem Training von Piloten im Flugsimulator, wo diese auf kritische Situationen trainiert werden, ist dies auch im beschriebenen Fall möglich, wenn virtual reality beim Strahlrohrtraining angewendet wird. Um diese Ausbildungsinhalte

realistischer zu gestalten, ist es erforderlich, zum einen die Haptik und die physische Belastung im Training widerspiegeln zu können, aber auch eine reale und bekannte Umgebung mit Hilfe eines Digitalen Zwillings zu erzeugen. [1, 2,4]

Im späteren Einsatz bedient der Auszubildende kein technisches Gerät mit Hilfe eines Joysticks o.ä. Daher ist es erforderlich, die durchgeführten realistischen Bewegungen des Auszubildenden mit Hilfe von Sensoren in den Digitalen Zwilling zu übertragen. Die Schwierigkeit liegt hier bei der realitätsnahen Darstellung der körperlichen Belastung. [2] Zudem ist das derzeitige Training mit virtual reality nicht in der Lage die praktische Ausbildung vollständig zu ersetzen, da äußere Einflüsse wie Wärme und deren Einfluss auf die Grenzen der Schutzkleidung nicht realistisch wiedergeben werden können. Weiterhin ist es mit den derzeitigen Rechenmodellen noch nicht möglich das Verhalten von Brandrauch parallel zu einem aktiven Brand realistisch darstellen zu können.

Somit bietet diese Technologie lediglich die Möglichkeit Grundfertigkeiten, zu jeder Zeit und an jedem Ort, trainieren zu können. Dabei ist dies zudem ein Ansatz, um praktische Aus- und Fortbildungen kostengünstiger durchzuführen. [2]

4.1.2 Vorbeugender Brandschutz

Der vorbeugende Brandschutz stellt für Digitale Zwillinge eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten dar.

Building Information Modeling (BIM)

Bereits heutzutage werden Großprojekte in der Bauwirtschaft mit Hilfe von 3D-Simulationen baubegleitend durchgeführt. Das Stichwort hierbei lautet BIM (Building Informationen Modeling (dt. Bauwerksdatenmodellierung)). Hierbei wird ein Neubau 1:1 im digitalen Raum nachgebildet und mit allen notwendigen Informationen versorgt. Ziel ist es, im Baufortschritt alle Informationen für alle Gewerke zur Verfügung zu stellen und auch Veränderungen möglichst in Echtzeit an alle Gewerke zu verteilen. Mit Hilfe von Sensoren und 3D-Scannern auf der Baustelle ist es wiederum möglich, die Informationen von der Baustelle digital an den Zwilling zurückzusenden, um den Fortschritt nachverfolgen zu können.

Im Rahmen des Genehmigungsprozesses besteht hierbei für den vorbeugenden Brandschutz die Option, Schadensverläufe wie beispielsweise die Ausbreitung von Feuer und Rauch am digitalen Objekt zu simulieren. Spielt man hierbei noch vor Ort herrschende bekannte reale Umgebungsparameter wie Luftdruck, Windrichtung und Windgeschwindigkeiten ein, ist eine realitätsnahe Simulation möglich. Gerade in großen und ausgedehnten oder architektonisch außergewöhnlichen Objekten ist es so möglich, ein Schadensereignis ohne aufwendige reale Versuche zu simulieren, um den Personen- und Sachschutz zu verbessern. [13, 16, 21]

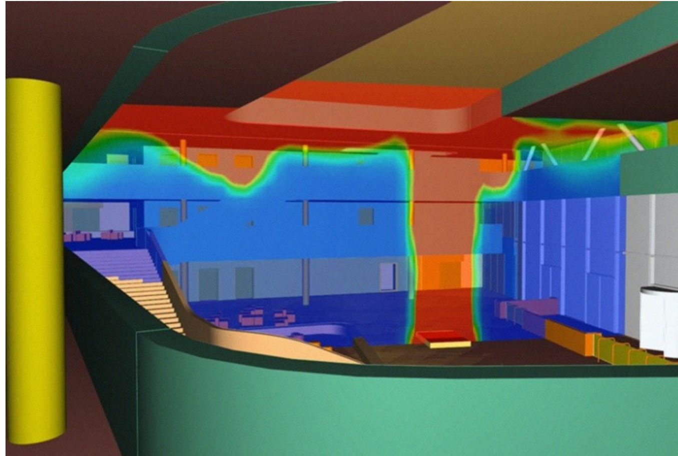


Abbildung 3: Bereits in der Planungsphase kann der spätere Brandverlauf am Digitalen Zwilling simuliert werden und damit Rückschlüsse auf die Bauwerks- und Einsatzplanung geschlossen werden
Quelle: https://www.feuertrutz.de/einsatz-von-simulationen-in-der-brandschutzplanung/150/74129/, 2020-10-11, 11:02 Uhr

Prüfen von Anleiterbarkeiten

Wenn ein Neubauprojekt und seine Umgebung vollständig als Digitaler Zwilling vorliegen, ist es zudem möglich, die Aufstellmöglichkeiten und Anleiterbarkeiten von Hubrettungsgeräten genau zu simulieren. Hierbei steht es der zuständigen Brandschutzdienststelle frei, ob sie als Referenz die gesetzlichen und normativen Richtlinien an Aufstell- und Bewegungsflächen der Feuerwehr als Basis nimmt oder einen Digitalen Zwilling des eigenen Hubrettungsgerätes, ggf. versorgt mit ausreichend technische Reserven, für jene Simulationen einsetzt.

Kombiniert man diesen Digitalen Zwilling mit einem weiteren Digitalen Zwilling aus der Fahrerausbildung, wie er bei Fahrsimulatoren angewendet wird, dann ist es möglich das Anleitern von Objekten auch für das Einsatzpersonal, bereits vor Baufertigstellung, zu schulen, ohne aufwendige Stellproben vor Ort durchführen zu müssen.

Um diesen Schritt durchführen zu können, ist die Festlegung von einheitlichen Standards bei der Schnittstellenkonfiguration von Digitalen Zwillingen zwingend erforderlich. [4]

BIM im Kontext von Bauprozessbegleitung

Im weiteren Bauverlauf bietet BIM für den vorbeugenden Brandschutz die Möglichkeit, auch aus dem Büro heraus den Baufortschritt zu beobachten und gleichzeitig gerade bei Einbauten im Hochbau, wie zum Beispiel Brandschutzklappen, welche im späteren Verlauf teilweise nur noch schwer zugänglich sind, genauer beurteilen zu können. Stellt der Sachbearbeiter nun eine Abweichung fest, ist es möglich, diese direkt im Digitalen Zwilling einzutragen und so den verantwortlichen Personen und

jedem Gewerk unmittelbar zugänglich zu machen. Selbstverständlich erfordert dieses Vorgehen aber auch, dass die Sachbearbeiter ausreichend in dieser neuen digitalen Technologie geschult werden. Ziel dabei muss es sein, den Bau eines Gebäudes zu vereinfachen und nicht zu verkomplizieren.

Digitale Zwillinge zur Schulung von Einsatzkräften bei Neubauprojekten

Gerade bei städtebaulichen Großprojekten geht es zum Ende eines jeden Projektes darum, das spätere Einsatzpersonal zu schulen und an die Besonderheiten eines Gebäudes heranzuführen. Mit Hilfe eines Digitalen Zwillings und entsprechendem Bildmaterial, welches zum Fertigungsende einer Baustelle aufgenommen wird, ist es möglich, die brandschutztechnischen Besonderheiten eines Gebäudes hervorzuheben und digital verfügbar zu machen. Diese Methode ermöglicht es, eine Vielzahl von Mitarbeitern in kürzester Zeit an ein neues Gebäude heranzuführen. Der Vorteil hierbei ist, dass langwierige Objektbegehungen und damit oftmals einhergehende temporäre Außerdienststellungen von Einsatzfahrzeugen entfallen. Auch hier ist es erforderlich, einen möglichst hohen Detaillierungsgrad anzustreben, um ein Wiedererkennen des digitalen Lerninhaltes im späteren Einsatz zu erreichen.

Als Beispiel sei hierfür das Großprojekt „Neue Altstadt“ in Frankfurt am Main zu nennen. Bei der Eröffnung des Objektes galt es, über 800 Einsatzkräfte inkl. Führungspersonal an das neue Einsatzareal heranzuführen und mit Informationen über Brandwandverläufe, Einspeisestellen und Zugangsmöglichkeiten zu versorgen. Dies erfolgte mit Embedded Reality (Abb. 4), einem Rundgang in dem simulierten Objekt sowie praktischen Übungen und Modelversuchen.



Abbildung 4: Im Digitalen Zwilling werden die brandschutztechnischen Besonderheiten der neuen Altstadt in Frankfurt am Main visuell dargestellt.
Quelle: TRUTHÄN, Dipl.-Inf. Bw (VWA) Stefan, Experteninterview zum Thema Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr, hhpBerlin, Geschäftsführender Gesellschafter, Videokonferenz am 2020-11-05

4.2 Einsatzdurchführung

Bei der Einsatzdurchführung können Digitale Zwillinge an einer Vielzahl von Stellen die Einsatzkräfte unterstützen. Hierbei sind sie vor allem als eine Art neues Führungsmittel für den Einsatzleiter von Bedeutung, indem sie ihn bei seiner Entscheidungsfindung unterstützen.

Digitale Zwillinge in der Leitstelle

Am Anfang eines jeden Einsatzes der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr steht der Notrufeingang bei einer Leitstelle. Hierbei zeigen die statistischen Auswertungen, dass die Notrufeingänge und damit einhergehend auch die Arbeitsbelastungen für das Dispositionspersonal seit Jahren ansteigen. Dies führt schlussendlich zu einer stetigen Vergrößerung der Leitstellen. Mit Hilfe eines digitalen Prozesszwillings ist es möglich, die Notrufabfrage zu entlasten. Hierbei spricht der Hilfeersuchende nicht mehr direkt mit einem Disponenten, sondern mit einer Software. Dabei identifiziert die Software zunächst die gesprochene Sprache, hinsichtlich Nationalität, Sprechweise, sowie Geschwindigkeit und passt daraufhin die Notrufabfrage an. Zusammen mit einem standardisierten Notrufabfrageprotokoll und künstlicher Intelligenz ist es möglich, die Notrufabfrage selbstständig durchzuführen. Nachdem das Einsatzstichwort definiert wurde, kann der Disponent die eigentliche Alarmierung übernehmen oder auch dieser Schritt wird vollautomatisch erledigt. [3]

Diese Technik befindet sich noch im Forschungsstadium und muss sicherlich noch weiterentwickelt werden, um beispielsweise auf unterschiedliche Geräusche im Anruf, Panikverhalten der Hilfeersuchenden oder auch Erfahrungswerte eingehen zu können. Dennoch wäre dies eine Möglichkeit, die Leitstellen zukünftig zu unterstützen und zu entlasten.

Ein weiteres Hilfsmittel in Form eines Digitalen Zwillings ist, dass das ständige Lagebild der Leitstelle durch eine digitale dreidimensionale Karte des Einsatzgebietes ergänzt wird. Verknüpft man dieses Hilfsmittel mit den Niederschlagsvorhersagen und den zu erwartenden Windgeschwindigkeiten, können bereits im Vorfeld Gebiete für mögliche Unwettereinsätze identifiziert werden. Dies ermöglicht es, Einsatzkräfte im Vorfeld zu alarmieren und taktisch sinnvoll zu verschieben oder aber mit Hilfe von Rückkopplungen zur Stadtentwässerung entsprechende Rückhaltekapazitäten durch Öffnen von Schiebern freizugeben. [4]

Digitale Zwillinge auf der Anfahrt zur Einsatzstelle

Nach der Alarmierung befinden sich die Einsatzkräfte und der Einsatzleiter auf der Anfahrt zum Objekt. Derzeit ist ein standardisierter Alarmausdruck gängige Praxis. Einige Feuerwehren erweitern das Informationsangebot für die anfahrenden Einsatzkräfte noch durch eine Informationsbereitstellung via Tablet. In der Regel handelt es sich hierbei meist um eine Art Ordnerstruktur, über die vorliegenden Objektinformationen, wie Feuerwehrpläne oder Zusammenfassungen von alarmierten Einsatzkräften etc., bereitgestellt werden.

Der Digitale Zwilling bietet an dieser Stelle die Anwendungsmöglichkeit, dass er den Einsatzkräften bereits auf der Anfahrt die zu diesem Zeitpunkt notwendigen Informationen für die Einsatzplanung zur Verfügung stellt. Dabei ist die zentrale Frage, welche Informationen die Einsatzkräfte zu welchem Zeitpunkt benötigen.

Liegt die Stadt als Digitaler Zwilling vor, dann ist es den Einsatzkräften möglich, bereits auf der Anfahrt die Witterungsverhältnisse an der Einsatzstelle lokal zu erfragen, die Ausbreitung von Gefahrstoffen durch Schließen von Kanaleinläufen zu verhindern oder aber die Standorte von ausgelösten Rauchwarnmeldern im Objekt, durch eine Schnittstelle zur *Smart City,* zu identifizieren. Veraltete Daten spielen hierbei keine Rolle mehr, da die Bezugsquellen Informationen in Echtzeit liefern. [10]

Hierbei besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Informationsquellen der ausgelösten Rauchwarnmelder und des BIM miteinander zu verbinden. Dabei können Schnellberechnungen Auskunft darüber geben, wohin sich eine Rauchentwicklung, beginnend im konkreten Raum mit dem ausgelösten Rauchwarnmelder, ausbreiten wird. Diese Informationen lassen sich in einer *Smart City* mit Hilfe von Zustandsmeldungen von offenen oder geschlossenen Türen und Fenstern beliebig erweitern. Ziel muss es dabei sein, den Einsatzkräften eine schnelle 3D-Übersicht über die zu erwartende Lage zu geben.

Dadurch verringert sich die Zeit für die Lageerkundung enorm. Auch hier ist es entscheidend, dass der Digitale Zwilling die Einsatzkräfte unterstützt, in dem er bereits Entscheidungsmöglichkeiten vorbereitet und die Einsatzkräfte nur mit jenen Informationen versorgt, die sie in diesem Moment benötigen. Gleichzeitig kann ein solcher Informationsstand auch verlustfrei in eine rückwärtige Führungsunterstützung (Leitstelle/Stab) übertragen werden, wodurch alle beteiligten Personen immer auf demselben Informationsstand sind.



Abbildung 5: Die Daten der Smart City werden dem Einsatzleiter bereits auf der Anfahrt und während der Erkundung vor Ort als ein Digitaler Zwilling des Objektes präsentiert.
Quelle: vfdb – Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes, Heft 4/2020, November 2020, 69. Jahrgang, Seite 180

Gefahrstoffprognosen

Im Rahmen der Einsatzdurchführung ist es bei unterschiedlichen Einsatzlagen erforderlich, die Ausbreitung der Gefahrenstelle genauer zu verifizieren, sei es bei der Ausbreitung von Gefahrstoffen in der Luft, Druckwellen bei einer möglichen Detonation von Sprengmitteln oder die Ausbreitung von ansteigendem Hochwasser in urbanen Gebieten.

Diese Themenfelder sind weitere Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben ist es möglich, mit Hilfe von 3D-Scans und Drohnen sowie anschließender Bearbeitung mit CAD-basierten Informationen eine ganze Stadt oder zumindest Stadtgebiete als Digitalen Zwilling nachzubilden. Vernetzt man diesen Zwilling noch mit zusätzlichen Daten wie Witterungsgegebenheiten oder den Betriebszuständen von Lüftungsanlagen und Kanaleinläufen, dann ergibt sich ein vollumfänglicher Digitaler Zwilling, mit dessen Hilfe Analysen durchgeführt werden können, aber auch Signale aus der digitalen Welt in die reale Welt gesendet werden können.

Dies stellt bei einem Gefahrstoffeinsatz für die Gefahrenabwehr eine neue Möglichkeit der genauen Ausbreitungsevaluierung dar.

Die Feuerwehr Hamburg nutzt mit der Analysesoftware CT-Analyst von der Universität Hamburg ein Hilfsmittel, bei dem Gefahrstoffausbreitungen für das Hafengebiet, inkl. der angrenzenden Stadtteile, auf Basis eines Digitalen Zwillings der Umgebung genau vorhergesagt werden können. [15]

Das vereinfacht dargestellte Vorgehen hierbei beruht darauf, dass ein stadtähnlicher dreidimensionaler Nachbau verwendet wird, um mit Hilfe eines sogenannten Euler'schen Modells eine Ausbreitungsprognose zu berechnen. Die Rechenzeit hängt momentan stark von den Randparametern ab und kann zwei Stunden bis hin zu vier Tage betragen. Um im Einsatzfall diese Zeit zu verkürzen, werden im Vorfeld Vorausberechnungen durchgeführt, um Strömungs- und Turbulenzfelder auszumachen. Anschließend erfolgt eine Datenreduktion und eine ausreichend genaue Datenbereitstellung in einer Rekonstruktion. [9, 14]

Mit zunehmender Entwicklung der IT-Infrastruktur wird sich diese Rechenzeit noch deutlich verkürzen. Dabei wäre es dann auch möglich, eine 1:1 konstruierte, dreidimensionale aktuelle Stadtnachbildung für jene Berechnungen zu verwenden. Durch diese Methode wird eine Ausbreitungsprognose wesentlich detaillierter, da natürliche Freiflächen (Gewässer, Felder o.ä.), offene urbane Plätze und enge Straßenschluchten besser berücksichtigt werden können als im bisher dargestellten Verfahren zur Erstellung von Ausbreitungsprognosen mit Hilfe von Ausbreitungskeulen.

Kombiniert man diese digitale Berechnung mit den Betriebszuständen, beispielsweise von Lüftungsanlagen, dann verfügt der Einsatzleiter über die Möglichkeit, auf Basis solcher detaillierten Informationen Lüftungsanlagen präventiv abzuschalten, bevor sich eine Gefahrstoffwolke nähert. Gleichzeitig kann dadurch auch eine noch präzisere Bevölkerungswarnung erfolgen oder auch das Schließen von Abwasserkanälen auf diese Art und Weise wäre möglich.

Das bisher beschriebene Vorgehen bezieht sich vor allem auf die Erstellung von Ausbreitungsprognosen. Das Verfahren kann jedoch auch angewendet werden, um den Ursprung einer Gefahrstoffausbreitung zu identifizieren.



Abbildung 6: Ausbreitungssimulation mit Hilfe eines Digitalen Zwillings nach einer Gefahrstofffreisetzung im Hamburger Hafen.
Quelle: LEITL, Bernd, Informationsgespräch „CT-Analyst Frankfurt“ Präsentation, 2018

Hochwassermodellierung

Ein ähnliches Verfahren zur Vorhersage von Gefahrenausbreitungen wäre ein dreidimensionaler Digitaler Zwilling einer Stadt mit dem Schwerpunkt auf die Topographie. Kombiniert man dieses Modell mit zusätzlichen Eingangsparametern wie Niederschlagsvorhersagen, Pegelstände usw., ist es möglich, den Verlauf einer nahenden Hochwasserwelle und ihren Einfluss auf die zu betrachtende Stadt detailliert zu untersuchen. In Folge können Barrieren errichtet oder über eine Rückkopplung des Digitalen Zwillings Fluttore geschlossen werden. Dies fördert die Effektivität des Bevölkerungsschutzes und ermöglicht das in Einsatzbringen von Einsatzkräften und Einsatzmitteln zur richtigen Zeit am richtigen Ort.

3D-Punktwolken als eine Form von Digitalen Zwillingen bei der Bauzustandsbestimmung

Im Rahmen eines Einsatzes des Technischen Hilfswerkes und/oder der Feuerwehr nach einem Schaden an einem Bauwerk sind die Einsatzkräfte dazu gezwungen, in einer beschädigten Umgebung tätig zu werden.

Hierbei ist es die Aufgabe der Einsatzleitung, das Bauwerk kontinuierlich zu beobachten, um auf Veränderungen umgehend reagieren zu können, falls es durch äußere Einflüsse oder auch Setzungen zu einer Bewegung im Schadensobjekt kommt. Dies ist maßgeblich für die Sicherheit der eigenen Einsatzkräfte.

Mit Hilfe von 3D-Scannern und seismischen Sensoren ist es möglich, einen Digitalen Zwilling eines voll- oder teileingestürzten Hauses zu erzeugen und so Bewegungen in der Struktur, in Form einer 3D-Punktwolke, schnell zu identifizieren. Als digitaler Impuls besteht hierbei die Möglichkeit, dass der Digitale Zwilling bei einer Feststellung von Bewegungen außerhalb eines Grenzbereiches die Einsatzkräfte umgehend und selbständig warnt. [16, 21]

Evakuierungen im Rahmen von Entschärfungen von Weltkriegsmunition

Oftmals müssen die Feuerwehr, die Hilfsorganisationen und/oder das Technische Hilfswerk Vollzugshilfe bei Entschärfungsmaßnahmen in Folge eines Fundes von Weltkriegsmunition leisten.

Zu Beginn der Evakuierungsmaßnahmen ist in aller Regel die Festlegung eines Evakuierungsbereiches von zentraler Bedeutung. Dies fällt in den meisten Bundesländern in den Aufgabenbereich der in der Regel auf Landesebene angesiedelten Kampfmittelbeiseitiger. Deren Entscheidung beeinflusst essenziell den Arbeitsaufwand der unterstützenden Einsatzkräfte. So ist es doch ein erheblicher Unterschied, ob ein 250 m, 500 m oder 1.000 m Radius urbanes Gebiet evakuiert werden muss. Liegen in diesem Gebiet zusätzlich noch besondere Objekte, bspw. Alten- und Pfle-

geheime, Krankenhäuser oder Gebäude der kritischen Infrastruktur, dann erhöht sich der Arbeitsaufwand nochmals um ein Vielfaches.

In aller Regel gehen solche Entschärfungsmaßnahmen glücklicherweise ohne eine versehentliche Detonation des Sprengmittels einher. Dennoch werden entsprechende Evakuierungen durchgeführt, um die Bevölkerung im Falle einer Detonation einem möglichst geringen Risiko auszusetzen.

An dieser Stelle kann ein Digitaler Zwilling einer Großstadt die Entscheidungsträger bei der Festlegung des Evakuierungsbereiches unterstützen. Diesbezüglich laufende Forschungsprojekte verdeutlichen die Möglichkeit, dass mit Hilfe eines dreidimensionalen Abbilds einer Großstadt und ergänzender Eingangsparameter (Sprengkraft, Lage der Weltkriegsmunition im Boden usw.) genauere Aussagen darüber getroffen werden können, in welchen Gebieten mit welchen Auswirkungen bei einer Detonation gerechnet werden muss. Dabei spielen Faktoren wie Windrichtung, Windgeschwindigkeiten oder die Länge und Höhe von Straßenschluchten, in denen sich ein Druck aufbauen kann, eine Rolle. Mit dieser Hilfe lassen sich mögliche Schadensgebiete besser identifizieren und entsprechende Evakuierungsmaßnahmen zielgerichteter durchführen. Im Umkehrschluss enden die Möglichkeiten eines Digitalen Zwillings nicht bei der Analyse eines möglichen Schadensgebietes. Mit weiteren Parametern, wie der Bevölkerungsdichte, Meldungen beim Einwohnermeldeamt, Nachweise über die Notwendigkeit und Art von Betreuungsmaßnahmen von Anwohnern o.ä., ist der Digitale Zwilling in der Lage, nahezu eigenständig die Einsatzplanung erheblich zu entlasten und Teilaufgabengebiete eigenständig zu planen. [22]

Digitale Zwillinge im weiteren Einsatzverlauf

Ziel des Digitalen Zwillings muss es sein, die Einsatzkräfte zu unterstützen. Für die vor Ort befindliche Führungskraft bedeutet dies, dass sie mit dem Digitalen Zwilling ein Führungsmittel zur Verfügung gestellt bekommt, welches ihr in der jeweiligen Einsatzphase die wichtigsten Informationen vorbereitet zur Verfügung stellt, um die notwendigen Entscheidungen zu treffen. Hierbei können beispielsweise Hilfsgrößen wie der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge, welcher vollautomatisch an den Digitalen Zwilling gesendet wird, erhoben werden. Wichtig dabei ist, dass die finale Entscheidung, zum Beispiel über die Nachforderung von Personal oder Material, weiterhin die Führungskraft trifft. Jedoch sollte der Digitale Zwilling ein virtuelles Abbild der Einsatzstelle schaffen und so unterstützen.

Schlussendlich bietet sich bei einer Kombination von mehreren Digitalen Zwillingen einer Einsatzstelle die Möglichkeit, diese im virtuellen Raum für eine rückwärtige Führungsunterstützung nachzubilden und als Führungsmittel zu nutzen. So können Entscheidungen und ihre Auswirkungen geplant werden, bevor sie an der realen Einsatzstelle umgesetzt oder aus der rückwärtigen Führungsunterstützung veranlasst werden. [1]

4.3 Einsatznachbereitung

Nach einem jeden Einsatz gilt es, neben den Einsatzkräften auch die Einsatzmittel zu regenerieren, aufzufüllen, instand zu setzen und wieder einsatzklar zu machen.

Auch dies gehört zu den Einsatzphasen, bei denen ein Digitaler Zwilling unterstützen kann.

Fahrzeuginstandsetzung mit Unterstützung des Digitalen Zwillings

Verfügt eine Organisation der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr über einen digitalen Prozesszwilling, der ihr gesamtes Handeln unterstützt, so ist es möglich, dass die Daten von Fahrzeugen (Betriebsmittelverbrauch, Zustand von Verschleißteilen, dynamische Fahrsensoren) kontinuierlich an die Instandsetzung gesendet werden. Diese ist damit in der Lage, Wartungsintervalle frühzeitig zu erkennen und entsprechende Kompensationsmaßnahmen in der Fahrzeugvorhaltung zu planen. Weiterhin besteht hierbei die Möglichkeit, dass auch äußere Einflüsse auf die Fahrzeugtechnik, wie zum Beispiel Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte, welche ein Einsatzfahrzeug auf einer Alarmfahrt stark beanspruchen, in die Planung von Wartungsintervallen einfließen können. Der Vorteil besteht hier darin, dass so technischen (spontanen) Ausfällen vorgebeugt werden kann. Dadurch erhöht sich die Abdeckung des Einsatzgebietes mit Einsatzfahrzeugen, da diese strategisch frühzeitig verschoben werden können. Gleichzeitig kann unter Umständen auch die Vorhaltung von Reservefahrzeugen reduziert werden, um Kosten zu senken.

Im Zusammenhang mit der Fahrzeugtechnik bieten Digitale Zwillinge die Möglichkeit, dass diese in Form eines BIM für Fahrzeuge, Werkstattpersonal und Endanwender in der Lage sind, Handgriffe, beispielsweise bei der Einführung neuer Updates, effizienter zu üben. Selbstverständlich darf hier der praktische Umgang am späteren Einsatzfahrzeug nicht verloren gehen. Vielmehr ist dies als Option zu sehen, die Qualität einer Schulung durch Interaktivität zu verbessern. [1]

Planung der Wiederherstellung der Einsatzmittel während des Einsatzes

Bereits seit einigen Jahren ist es technisch möglich, dass ein digitaler Prozesszwilling bereits während des Einsatzes die Verbrauchsgüter, beispielsweise im Rettungsdienst, erkennt und so die Lagervorhaltung effizienter gestaltet. Hierbei kann dem Einsatzpersonal bei Ankunft auf der Wache angezeigt werden, welche Produkte verbraucht wurden und somit aufgefüllt werden müssen. Dabei führt der Digitale Zwilling auch die Nachbestellung bei Apotheken durch, sodass dem Einsatzpersonal mehr Zeit zur Wiederherstellung der eigenen Einsatzbereitschaft bleibt. Dies ist ebenfalls ein Beispiel dafür, wie ein Digitaler Zwilling die Einsatzkräfte während des gesamten Einsatzverlaufes unterstützen kann. [4]

Die digitale Atemschutzwerkstatt

Die Einsatznachbereitung umfasst neben der Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit der Mannschaft und des Fahrzeuges auch die Prüfung, Wartung und ggf. Instandsetzung der Atemschutztechnik nach einem Einsatz. Hierfür sind umfangreiche Arbeiten in einer Atemschutzwerkstatt notwendig.

Um hierbei die Effektivität der Arbeiten zu steigern und gleichzeitig Handlungssicherheit bei den durchführenden Atemschutzgerätewarten gewährleisten zu können, entwickelt die Fa. Dräger seit einigen Monaten einen Digitalen Zwilling, der das Arbeiten in einer neuen Atemschutzwerkstatt simuliert und damit Bedienpersonal, beispielsweise einer neu zu eröffnenden Feuerwache, an ihr späteres Arbeitsumfeld gewöhnt, ohne dass es zu einem quantitativen Abfall oder gar Ausfall der Ressourcen einer Atemschutzwerkstatt führt. Verfolgt man den Ansatz des Digitalen Zwillings konsequent, so ist es erforderlich, dass dieser auch Impulse an die Realität senden kann und so beispielsweise frühzeitig die Alarmierung von zusätzlichen Atemschutzgerätewarten über die Leitstelle initialisiert, wenn er feststellt, dass ein hoher Arbeitsaufwand in der Atemschutzwerkstatt aus dem Einsatz resultieren wird. Ein Beispiel hierfür wäre die frühzeitige Besetzung einer Atemschutzwerkstatt anhand der Rückmeldung von der Einsatzstelle der eingesetzten Atemschutzgeräte in Kombination mit den derzeit im Digitalen Zwilling abgebildeten Prüfanforderungen und Lagervorhaltung. [1]

5 Diskussion

Das vorherige Kapitel geht auf eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen ein. Diese erstrecken sich über das gesamte Einsatzgeschehen, beginnend bei der Einsatzvorbereitung über die Einsatzdurchführung bis hin zur Einsatznachbereitung.

Digitale Zwillinge bieten zweifelsohne die Möglichkeit, die Einsatzkräfte an verschiedensten Stellen zu unterstützen, das Handeln effektiver zu gestalten und teils auch den Personaleinsatz sowie Kosten zu senken.

Dennoch gilt es bei der Einführung von Digitalen Zwillingen noch einige offene Problemstellungen für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr genau zu erörtern.

So muss die Anwendung von Digitalen Zwillingen in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr, unabhängig vom konkreten Anwendungsgebiet, intuitiv und in einem gewissen Rahmen selbsterklärend sein, um eine Akzeptanz der Mitarbeiter aller Altersstufen sicherstellen zu können. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt handelt es sich bei dieser Technologie noch um eine sehr neue Komponente im Alltag der Gefahrenabwehr. Je nach Anwendungsgebiet wird dabei deutlich, dass mitunter ein hoher Schulungsaufwand notwendig ist, um die Technologie vollumfänglich nutzen zu können. Dabei muss man sich bei jeder Anwendungsmöglichkeit vor Augen führen, über welche Qualifikationen die Endanwender verfügen. Unabhängig von der Zielgruppe, also

Mannschaft oder Führungskraft, weisen in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr nahezu alle Menschen einen unterschiedlichen Hintergrund auf, wodurch die Affinität für eine neue Technologie ganz unterschiedlich sein kann. Ein Ansatz hierbei wäre, die Interaktion mit dem jeweiligen Digitalen Zwilling spielerisch zu fördern, um eine spätere intuitive Bedienung zu ermöglichen. Hierbei gilt es für jeden Digitalen Zwilling den späteren Nutzen mit dem Aufwand bei der Einführung und die erforderliche Akzeptanz der Endanwender abzuwägen.

Bei den technischen Voraussetzungen müssen zwingend noch die Aspekte der IT-Sicherheit und der Datensicherheit, unter anderem in Form von geregelten Zugriffsrechten, näher betrachtet werden. Hierzu und für die Erstellung von Schnittstellen ist es erforderlich, Standards, zum Beispiel in Form von Normungen, zu schaffen. Hierfür müssen die beteiligten Akteure den überregionalen Austausch weiter ausbauen. Derzeit arbeiten viele Anwendungsgruppen teils getrennt voneinander an der gleichen Problemstellung, teils sogar innerhalb eines Unternehmens oder einer Behörde, ohne die Ressourcen zu bündeln und an einem Strang zu ziehen. Ein Ansatz hierbei wäre die Schaffung des von der vfdb angeregten Kompetenzzentrums für digitale Transformation. Hierbei ist es ebenfalls noch erforderlich, die finanzielle Grundlage zur weiteren Forschung und späteren Anwendung zu legen. Dabei ist ein Ansatz, Partnerschaften und Plattformen zur gemeinsamen Nutzung zu schaffen, ähnlich der momentanen Zusammenarbeit bei einer geteilten, offenen Trainingsplattform unter dem Dach des Bundesverbandes Betrieblicher Brandschutz/Werkfeuerwehrverband Deutschlands e.V.

Jedoch müssen hierfür auch die technischen Voraussetzungen zur Ermittlung verschiedenster Sensordaten gesellschaftspolitisch weiter ausgebaut werden, um die Leistungsfähigkeit eines Digitalen Zwillings voll ausnutzen zu können.

Die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen verdeutlichen, dass die Möglichkeit, alle Daten orts- und zeitunabhängig zur Verfügung zur stellen, einen großen Mehrwert bietet, jedoch die Ausgereiftheit der Technologie weiter verbessert werden muss. Als Beispiel sei hier die Echtheit des übermittelten Bildes bzw. Modells genannt.

Dennoch überwiegt die Möglichkeit, kontinuierliche und eventuell auch kritische Handlungen im Vorfeld immer wieder trainieren zu können und dabei bewusst Fehler zu machen, um die Sicherheit zu verbessern.

Abschließend lässt sich festhalten, dass Digitale Zwillinge in der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr, neben den üblichen Führungsmitteln nach FwDV 100, eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung darstellen.

Generell sind die Technologie und die damit einhergehenden Möglichkeiten ein Quantensprung für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr hin in Richtung einer smarten Zukunft, der sie sich nicht grundsätzlich verweigern sollte. Dennoch ist es erforderlich, den eigentlichen Auftrag der Gefahrenabwehr weiterhin vollumfänglich erfüllen zu können und dabei auch ausreichend Redundanzen zur Verfügung zu haben,

um auch einen möglichen Serverabsturz und damit eines Absturzes des Digitalen Zwillings kompensieren zu können.

Gerade auch in Bezug auf Digitale Zwillinge können diese nur eine weitere Unterstützung der Einsatzkräfte darstellen. Eine vollständige Abkehr vom altbewährten Einsatzablauf hin zu Digitalen Zwillingen ist derzeit nicht möglich.

Es gilt beim Thema Digitaler Zwilling zwingend noch Handlungsfelder zu bearbeiten. Hierbei ist eine nationale und internationale Zusammenarbeit anzustreben, um Entwicklungen, die beispielsweise in den USA bereits getätigt wurden, in Deutschland nicht nochmal durchführen zu müssen.

Gleichzeitig muss sich die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr auch strukturell darauf einstellen, das Wissen in den eigenen Reihen, bspw. durch IT-Experten, ggf. auch durch Erfahrungen mit Digitalen Zwillingen, weiter auszubauen.

6 Fazit und Ausblick

Die Technologie der Digitalen Zwillinge bietet für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr neue Möglichkeiten ihr Handeln, sowohl im Einsatz als auch in der Einsatzvor- und -nachbereitung effektiver zu gestalten.

Auf Grundlage der durchgeführten drei Experteninterviews mit Gesprächspartnern aus der öffentlichen und nicht öffentlichen Feuerwehr, der Wirtschaft sowie einer ergänzenden nationalen und internationalen Literaturrecherche gibt diese Facharbeit Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen.

Der Digitale Zwilling ist dabei immer ein Abbild eines realen Objektes oder eines realen Prozesses. Mit Hilfe von Einflussgrößen ist der Digitale Zwilling in der Lage, teils über ergänzende Simulationen, die reale Welt zu beeinflussen. Hierzu kann der Digitale Zwilling selbst Entscheidungen treffen, wenn er mit der Technologie der künstlichen Intelligenz verbunden wird, oder eine Entscheidung für die reale Welt vorbereiten.

Im zweiten Fall fungiert der Digitale Zwilling als Werkzeug zur Unterstützung des Menschen in einer immer komplexer werdenden Welt. Hierbei ergeben sich Vorteile, wie die gezielte Datenfilterung, um einen Entscheidungsträger nicht zu überlasten oder aber die Voraussetzung, um einen Personal-, Material-, sowie Finanzmitteleinsatz effektiver zu gestalten.

Daneben ergeben sich jedoch auch Nachteile bzw. noch offene Problemfelder, die zukünftig geklärt werden müssen, um die Technologie des Digitalen Zwillings effektiv nutzen zu können. Beispiele hierfür wären die mangelnden Standards in Bezug auf IT-Schnittstellen, fehlende Kooperationen, noch nicht gebündelte Kompetenzen sowie rechtliche Bedenken, wie der Schutz von sensiblen Daten von Personen oder kritischen Infrastrukturen.

Entscheidend ist an dieser Stelle, dass sich die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr dieser Technologie nicht verschließen sollte, sondern offen darauf zugeht und diese Schritt für Schritt, ggf. auch in einer Modellregion, erprobt und weiterentwickelt.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen sind zahlreich, jedoch liegt es an der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr zu entscheiden, wie weit man diese Technologie heute schon nutzen möchte und ob neue Strukturen innerhalb der Unternehmen, Organisationen oder Behörden, wie bspw. ein „*Fachberater für digitale Fragen*“ benötigt werden. Die vorliegende Facharbeit gibt für die künftige Bearbeitung dieser Fragen einen Einstieg und erörtert mögliche Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen für die nichtpolizeiliche Gefahrenabwehr.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Expertengespräche

[1] BÜCHER, Raimund, Experteninterview zum Thema Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr, Henkel AG & Co. KGaA Düsseldorf, Leiter der Werkfeuerwehr, Vorsitzenden des Bundesverbandes Betrieblicher Brandschutz/Werkfeuerwehrverband Deutschlands e.V., Gesprächstermin am 2020-10-15

[2] ENGL, Volker, Experteninterview zum Thema Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr mit Schwerpunkt auf das Forschungsprojekt SIKET, Hessische Landesfeuerwehrschule, Telefoninterview am 2020-11-09

[3] PRATZLER-WANCZURA, Dr.-Ing. Sylvia, Experteninterview zum Thema Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr, Stadt Dortmund, Feuerwehr Dortmund, Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Leitende Ingenieurin, Telefonkonferenz am 2020-10-19

[4] TRUTHÄN, Dipl.-Inf. Bw (VWA) Stefan, Experteninterview zum Thema Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr, hhpBerlin, Geschäftsführender Gesellschafter, Videokonferenz am 2020-11-05

Literaturquellen

[5] Digitale Transformation in der zivilen Gefahrenabwehr, blaulicht.digital, 2020-09-12

[6] Digital twin – Driving business value throughout the building life cycle, Siemens Switzerland Ltd 2018, 2018-09

[7] Erhöhung der Bewältigungskapazitäten von Einsatzkräften bei Großschadensereignissen unter Verwendung von Simulationsumgebungen, Schlussbericht, TEAMWORK, Auftraggeber: Stadt Dortmund – Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, 2019-01

[8] Firefighter VR – The Training Experience - Präsentation, Reschke, Northdocks GmbH, 2020-10-09

[9] FISCHER, Susanne, STORM, Knut, LEITL, Bernd, PATNAIK Gopal, BORIS, Jay, HARMS Frank, BERBEKAR Eva, Contaminant Transport Analyst – Innovative Software für Feuerwehr und Katastrophenschutz in Hamburg, BRANDSCHUTZ, Kohlhammer Verlag, Ausgabe 9/2016, S.677, ISSN 0006-9094, 2016-09

[10] FORAITA, Dr. Sebastian, Chancen und Risiken der „Smart City" aus Sicht der Feuerwehr, Facharbeit, Branddirektion Frankfurt am Main, 2017-12

[11] FORD, David N., WOLF, Charles, Smart Cities with Digital Twin Systems for Disaster Management, ASCE, 2020

[12] GRIEVES, Michael, VICKERS, John, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, Florida Institute of Technology, Melbourne, FL, USA, Springer International Publishing Switzerland, 2017

[13] Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, vfdb TB 04-01, 2013-11

[14] LEITL, Bernd, Informationsgespräch „CT-Analyst Frankfurt“ Präsentation, 2018

[15] WERTH, Dirk, Digitale Prozess-Zwillinge – Wie Digitalisierung und K.I. das Geschäftsprozessmanagement verändern, August-Wilhelm-Scheer-Institut für digitale Produkte und Prozesse, Präsentation, zuletzt geprüft am 2020-11-12 11:54

Internetquellen

[16] Denkmalschutz 3D (DEALS3D), Bundesministerium für Bildung und Forschung, Zugriff am 2020-10-20 12:47, Verfügbar https://www.sifo.de/files/Projektumriss_EINS3D.pdf, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:02

[17] Digitaler Zwilling, Zugriff am 2020-10-07 09:24, Verfügbar unter https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/80212/, zuletzt geprüft am 2020-11-12 11:55

[18] Digit, Duden, Zugriff am 2020-11-10 07:11, Verfügbar unter https://www.duden.de/sprachwissen/sprachratgeber/Herkunft-digital, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:34

[19] Die Feuerwehr Trendmap 4.0, Zugriff am 2020-10-17 07:59, Verfügbar unter https://www.rosenbauer.com/blog/de/die-feuerwehr-trendmap-4-0/, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:01

[20] Gefahrenabwehr, Zugriff am 2020-11-10 07:15, Verfügbar unter https://www.juraforum.de/lexikon/gefahrenabwehr, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:37

[21] Luftbasierte Einsatzumgebungsaufklärung in 3D (EINS3D) Bundesministerium für Bildung und Forschung, Zugriff am 2020-10-07 09:50, Verfügbar https://www.sifo.de/files/Projektumriss_EINS3D.pdf, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:05

[22] Simulationsbasierte Gefährdungsanalyse im urbanen Raum für Einsätze des Kampfmittelräumdienstes (SIRIUS), Bundesministerium für Bildung und Forschung, Zugriff am 2020-10-07 09:47, Verfügbar https://www.sifo.de/de/sirius-simulationsbasierte-gefaehrdungsanalyse-im-urbanen-raum-fuer-einsaetze-des-2318.html, zuletzt geprüft am 2020-11-12 07:52

[23] Was ist ein digitaler Zwilling, Zugriff am 2020-10-07 09:26, Verfügbar unter https://www.industry-of-things.de/der-digitale-zwilling-im-maschinenbau-a-935665/, zuletzt geprüft am 2020-11-12 07:16

[24] Wie funktioniert ein Digitaler Zwilling und was bringt er?, Zugriff am 2020-10-07 09:25, Verfügbar unter https://www.produktion.de/digital-manufacturing/wie-funktioniert-ein-digitaler-zwilling-und-was-bringt-er-124.html, zuletzt geprüft am 2020-11-12 07:33

[25] Zwilling, Duden, Zugriff am 2020-11-10 07:13, Verfügbar unter https://www.duden.de/rechtschreibung/Zwilling, zuletzt geprüft am 2020-11-12 12:35

A Anhang 1 – Fragebogen Experteninterview



Experteninterview im Rahmen der Facharbeit
„Digitale Zwillinge in der Gefahrenabwehr“

Gesprächspartner:

Datum und Art des Interviews:

1.) Ist Ihnen der Begriff „Digitale Zwillinge“ bereits bekannt?

2.) Hatten Sie im Rahmen Ihrer Tätigkeit bereits Kontakt mit Digitalen Zwillingen?

3.) Wofür werden Digitale Zwillinge in Ihrem Unternehmen / Behörde im Allgemeinen verwendet?

4.) Wie können Sie sich den Einsatz von Digitalen Zwillingen in der Gefahrenabwehr vorstellen?
   a. Einsatzdienst

   b. Aus- und Fortbildung

   c. Vorbeugender Brandschutz

   d. Technik

   e. Sonstiges

5.) Was sind Ihrer Meinung nach die Schwierigkeiten der Anwendung von Digitalen Zwillingen?

6.) Gab es bereits eine erste Kostenschätzung zu Projekten in diesem Bereich?

7.) Weitere Impulse



STADT FRANKFURT AM MAIN

B Anhang 2 – Auswertung Experteninterview(s)

Auswertung der Experteninterviews im Rahmen der Facharbeit
"Digital Zwillinge in der Gefahrenabwehr"

	Aussagen der Interviewpartner (stichpunktartig)		
Frage aus Fragebogen	Herr Raimund Bücher, Werkfeuerwehr Henkel, Vorsitzender des Bundesverbandes Betrieblicher Brandschutz/Werkfeuerwehrverband Deutschlands e.V. , Gespräch am 15.10.2020	Frau Pratzler-Wanczura, Feuerwehr Dortmund - Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, Telefonkonferenz am 19.10.2020	Herr Truthän, Fa. hhpBerlin, Videokonferenz am 05.11.2020*
1	Ja	Ja	Ja
2	Ja	Ja	Ja
3	Mannlose Klebstofffabrik von Henkel, Industrie 4.0	Schwerpunkt der Tätigkeit liegt auf der Robotik.	Entwicklung von zukunftssfähigen Lösungen für die Gefahrenabwehr, Verwenden von BIM in Rahmen der Tätigkeit eines Sachverständigenbüros des vorbeugenden Brandschutzes.
4	Nutzen der Daten der Smart City für Digitale Zwillinge, Ausbildung: Virtual Reality, Personalunterweisungen, Objektkunde, Maschinistenausbildung, Trainieren von Notfallsituationen; Vorhersagen der Einsatzphasen, Führen der Anlagentechnik durch den Einsatzleiter via Tablet (digitaler Impuls), Digitale Zwillinge als Führungsmittel, Bereitstellung von Einsatzinformationen zur richtigen Zeit des Einsatzes, Darstellung eines Prozesszwillings für den Bestellprozess im Rettungsdienst, BIM in der Gebäudeplanung, Planung der Wartungsintervalle der Technik, Einsatznachbereitung, Unterstützung der rückwärtigen Führung	Mögliche Anwendungsgebiete: Ausbildung (DLK-Schulung), Vorgehen generell analog Flugsimulatoren, Prozess der Leitstelle als digitalen Prozesszwilling abbilden mit Unterstützung eines Notrufassistenten, der die Sprache vollautomatisch identifiziert und ggf. übersetzt.	Schaffung eines virtuellen Trainingsfeldes (um ganze Einsatzlagen und Bauprojekte zu simulieren (BIM)), Künstliche Intelligenz in der Leitstelle, Digitale Zwillinge als Teil der zukünftigen Gefahrenabwehr inkl. Drohnen, Augmented Reality in der Ausbildung und im Einsatz, Truckrouting auf der Alarmfahrt inkl. Ampelsteuerung
5	Datenschutz, Festlegung von Standards, das Datenvolumina in der Echtzeitverwendung, Schulung der Mitarbeiter (evtl. spielerisch), Explosionsschutz der Technik im Einsatz, Ermittlung verfügbarer Datenquellen, Intuitive Bedienung	Sicherstellung der Rückfallebene, Klärung des Themas Datenschutz, realitätsnahe Haptik in der Ausbildung	Gedankliche Regelbrücke zulassen, Definieren der Augenhöhe von Mensch/Maschine, Datenbereitstellung, Zusammenarbeit der verschiedenen Unternehmen und Behörden
6	verweis Fa. Northdocks bzgl. Ausbildung	-	-
7	Die Frage muss lauten, wie man sich die vernetzte Feuerwehr 2025 vorstellt?	-	-

* das Gespräch wurde live mitgeschnitten

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Sean Kevin Heesch, die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der von mir angegebenen Quellen angefertigt zu haben. Alle aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde noch keiner Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt.

Münster, den ....

....

Sean Kevin Heesch